

# 大黄鱼鱼卵磷脂对小鼠脂质代谢的调节作用

梁鹏, 许艳萍, 程文健, 陈丽娇

(福建农林大学食品科学学院, 福建福州 350002)

**摘要:** 为研究大黄鱼鱼卵磷脂对高脂血症小鼠降血脂作用的影响, 通过建立高脂血症小鼠模型, 随机分为模型组、空白组、大豆磷脂组以及大黄鱼鱼卵磷脂低 (5 g/kg)、中 (15 g/kg) 和高剂量组 (30 g/kg), 连续饲料喂养 4 周后, 测定血清相关指标, 并进行肝脏病理观察。结果表明: 大黄鱼鱼卵磷脂具有抑制小鼠体重增加的作用。血清指标数据分析显示, 与模型组相比, 大黄鱼鱼卵磷脂低剂量组可显著降低 TC、TG 水平及  $AI_1$ 、 $AI_2$  值 ( $p < 0.05$ ), 对降低 LDL-C 和提高 HDL-C 水平差异不显著, 而中和高剂量组均能显著降低 TC、TG 和 LDL-C 水平以及  $AI_1$ 、 $AI_2$  值, 可以显著提高 HDL-C 水平 ( $p < 0.05$ ), 表明大黄鱼鱼卵磷脂具有调节高脂血症小鼠脂质代谢的作用; 小鼠肝脏病理组织学观察显示, 大黄鱼鱼卵磷脂低剂量组对小鼠肝细胞无明显影响, 而中和高剂量组可以明显修复小鼠肝细胞变性。结果提示大黄鱼鱼卵磷脂可预防小鼠肝脏的脂肪性病变, 有助于降低动脉粥样硬化发生的风险。

**关键词:** 大黄鱼鱼卵; 磷脂; 高脂血症; 脂质代谢

文章编号: 1673-9078(2016)11-1-7

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2016.11.001

## Effect of Large Yellow Croaker Roe Phospholipid on Lipid Metabolism in Hyperlipidemic Mice

LIANG Peng, XU Yan-ping, CHENG Wen-jian, CHEN Li-jiao

(College of Food Science, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China)

**Abstract:** The hypolipidemic effect of large yellow croaker roe phospholipids was studied using a mouse model of hyperlipidemia. Mice were randomly divided into six groups: model, blank, soybean phospholipid (negative control), and low-dose (5 g/kg), medium-dose (15 g/kg) and high-dose (30 g/kg) large yellow croaker roe phospholipid group. After four weeks of feeding, the pathological changes of liver and phospholipid metabolism indices in the serum were investigated. The results indicated that large yellow croaker roe phospholipids suppressed mouse body weight gain. Compared with model group, medium-dose and high-dose large yellow croaker roe phospholipids significantly reduced levels of total cholesterol (TC), triglycerides (TG), and the values of atherogenic indexes 1 ( $AI_1$ ) and 2 ( $AI_2$ ) ( $p < 0.05$ ), but had no marked impact on levels of low-density lipoprotein-cholesterol (LDL-C) and high-density lipoprotein-cholesterol (HDL-C). The findings suggest that medium- and high-dose large yellow croaker roe phospholipids regulated lipid metabolism in hyperlipidemic mice. Based on the results of pathological histology of mouse liver, low-dose large yellow croaker roe phospholipid did not show significant effect on hepatocytes ( $p > 0.05$ ), whereas medium- and high-dose large yellow croaker roe phospholipids showed a significant effect on repairing hepatocellular degeneration. The results indicate that large yellow croaker roe phospholipids can prevent fatty degeneration of mouse liver and help reducing the risk of atherosclerosis.

**Key words:** large yellow croaker roe; fish roe phospholipids; hyperlipidemia; lipid metabolism

大黄鱼 (large yellow croaker, *Pseudosciaena crocea*) 是一种重要的经济海水养殖鱼, 在海水养殖鱼出口量中排名第一<sup>[1]</sup>, 2012 年时养殖产量就已经高

收稿日期: 2015-12-24

基金项目: 国家星火计划重大专项 (2011GA720001); 福建省自然科学基金面上项目 (2014J01081); 福建省教育厅中青年骨干教师 A 类项目 (JA14109); 福建省福建农林大学高水平大学建设项目 (612014043); 福建省自然科学基金面上项目 (2016J01106)

作者简介: 梁鹏 (1985-), 男, 博士, 讲师, 研究方向: 海洋生物活性物质

通讯作者: 陈丽娇 (1962-), 女, 教授, 研究方向: 水产品深加工

达 95118 t<sup>[2]</sup>。大黄鱼及其加工产品也因其较好的食用品质和营养价值广泛销售国内外<sup>[3]</sup>, 而且近些年对大黄鱼的研究也越来越多<sup>[4]</sup>。然而对于大黄鱼加工过程中产生的副产物鱼卵的研究较少, 仅有的报道主要是对大黄鱼鱼卵过敏原<sup>[5]</sup>和免疫反应性的研究<sup>[6]</sup>。而鱼卵是一种营养价值极为丰富的海产食品, 富含蛋白质、长链多不饱和脂肪酸, 以及维生素 A、D 和矿物质元素, 如铁、锌、硒和磷等<sup>[7]</sup>。此外, 鱼卵还富含磷脂, 且以 n-3 多不饱和脂肪酸的形式存在<sup>[8]</sup>。大量的研究证实, n-3 多不饱和脂肪酸具有预防心血管疾病的作

用<sup>[9]</sup>, 食用富含 n-3 多不饱和脂肪酸的鱼油, 可以降低血液中的胆固醇水平, 维持血液的正常流动性<sup>[10]</sup>。

一般地, n-3 多不饱和脂肪酸以甘油三酯的形式存在, 而在鱼卵等海洋生物组织中以磷脂形式存在。研究发现, 鱼卵中磷脂占总脂肪比例从 38%~75%不等, 而且主要是以 PC 为主<sup>[11]</sup>, 磷脂的存在可以促进对 n-3 多不饱和脂肪酸生物利用率, 这是因为磷脂可以很好的在肠内吸收<sup>[12]</sup>, 而且容易进入细胞<sup>[13]</sup>。研究大豆磷脂和 EPA 型磷脂对脂质代谢的影响时发现磷脂型 EPA 在脂肪堆积和脂肪沉积、促进脂肪酸  $\beta$ -氧化、表达 SREBP-1c 脂肪调控因子方面更有效<sup>[14]</sup>。截止目前, 很多学者从动物和人体实验方面研究了鱼卵磷脂的活性功能。在小鼠试验水平上, 服用从鲑鱼卵中提取到的磷脂, 发现可以显著提升血浆脂联素水平、降低甘油三酯、总胆固醇和葡萄糖含量<sup>[15]</sup>; 小鼠迷宫试验也说明鲑鱼卵磷脂可以提高小鼠学习能力<sup>[16]</sup>。以肥胖小鼠为试验模型, 研究了鲑鱼卵磷脂对小鼠肝重和脂质水平的影响, 发现 4 周以后鲑鱼卵磷脂可以降低肝重水平和脂质水平, 主要原因是抑制脂肪合成、促进脂肪酸  $\beta$ -氧化<sup>[17]</sup>。以上结果说明源于海洋鱼卵中的磷脂在脂肪代谢等方面具有很好的活性。

大黄鱼养殖规模和加工量均较大, 而在加工过程中会产生大量的大黄鱼鱼卵, 大黄鱼鱼卵与其他海洋鱼卵一样, 也富含 n-3 多不饱和脂肪酸型磷脂。然而, 大黄鱼鱼卵磷脂降血脂活性方面的研究未见相关报道, 因此, 研究大黄鱼鱼卵磷脂降血脂活性, 可促进我们对大黄鱼鱼卵资源的开发和利用水平。

本实验中, 首次从小鼠试验水平上评价大黄鱼鱼卵磷脂的降血脂作用, 从小鼠血清指标方面进行观察, 并进一步从肝脏病理学方面观察大黄鱼鱼卵磷脂对肝脏病理的影响。研究结果有利于利用大黄鱼鱼卵磷脂资源研制降血脂等功能食品, 提升大黄鱼鱼卵资源的经济价值。

## 1 材料与方

### 1.1 材料

大黄鱼鱼卵磷脂: 新鲜大黄鱼鱼卵 (由福建岳海水产食品有限公司馈赠) 经超临界 CO<sub>2</sub> 脱除甘油三酯后, 采用 95%乙醇浸提 3 次, 分别浸提 30 min 后得到鱼卵磷脂浸提液, 减压真空浓缩得磷脂浸膏, 经 GC-MS 测定, 大黄鱼鱼卵磷脂中 DHA 占总脂肪酸的 12.50%, EPA 占总脂肪酸的 2.69%, 丙酮不溶物 >60%, 符合磷脂通用技术条件 (SB/T 10206-1994)。高脂饲料和普通饲料均由福州市吴氏实验动物提供; 其中高脂

饲料配方: 1.0%胆固醇、10%猪油、0.3%胆酸钠及 88.70%基础饲料; 大豆磷脂购自北京双螺旋微生物培养基制品厂; 总胆固醇试剂盒、甘油三酯试剂盒、高密度脂蛋白胆固醇试剂盒和低密度脂蛋白胆固醇试剂盒, 购自南京建成生物工程研究所; ICR 小鼠由福建医科大学提供 (许可证号 SCXK (闽) 2012-0001); 10%福尔马林溶液由福建医科大学提供; 0.9% NaCl 注射液购自上海华源长富药业有限公司; 苏木素和伊红染色液, 购自上海博谷生物科技有限公司; 无水乙醇、95%乙醇、二甲苯均为分析纯。

### 1.2 主要仪器设备

UV-1601 紫外可见分光光度计: 北京瑞利分析仪器有限公司; HH-4 数显恒温水浴锅: 常州国华电器有限公司; TGL-16G 高速台式离心机: 上海安亭科学仪器厂; SQP 电子天平: 赛多利斯科学仪器 (北京) 有限公司; SYD-3050 电脑石蜡切片机: 沈阳誉德电子仪器有限公司; TV-680 高倍视频显微镜, 上海光学仪器有限公司。

### 1.3 试验方法

#### 1.3.1 小鼠分组及高脂血症模型的建立

60 只 ICR 小鼠, 均为雄性, 鼠龄 5 周, 基础饲料喂养 3 d 后, 按小鼠体重分为成 6 组, 即正常对照组、模型组、低剂量组、中剂量组、高剂量组、阴性对照组, 每组 10 只。正常对照组给予基础饲料, 其余各组给予高脂饲料, 自由饮水摄食 2 周后, 取各组的小鼠进行断尾取血, 测定小鼠血清 TC、TG 和 HDL-C 浓度, 结果显示, 各组小鼠血清 TC、TG 和 HDL-C 浓度均显著高于正常对照组, 确定形成高脂血症模型。建模成功后, 每组小鼠喂养不同饲料, 如表 1 所示, 自由饮水摄食 4 周。

表 1 高脂血症小鼠分组情况

Table 1 Treatment groups of hyperlipidemic mice

组别	饲料	饲料中磷脂的含量
正常对照组	基础饲料	-
模型组	高脂饲料	-
低剂量组	高脂饲料+大黄鱼鱼卵磷脂	5 g/kg
中剂量组	高脂饲料+大黄鱼鱼卵磷脂	15 g/kg
高剂量组	高脂饲料+大黄鱼鱼卵磷脂	30 g/kg
阴性对照组	高脂饲料+大豆磷脂	15 g/kg

#### 1.3.2 观察指标和测定

每周测定小鼠体重。连续喂食 4 周后, 各组小鼠禁食 16 h 后, 眼眶取血, 采用试剂盒测定各项血清指标, 单试剂 GPO-PAP 法测定甘油三酯 (TG) 和总胆

固醇 (TC), 双试剂直接法测定高密度脂蛋白胆固醇 (HDL-C) 和低密度脂蛋白胆固醇 (LDL-C), 每项指标均平行测定 10 次, 取平均值。计算动脉粥样硬化指数  $AI_1$  和  $AI_2$ , 公式如下:

$$AI_1 = \frac{TC - HDL - C}{HDL - C}$$

$$AI_2 = \frac{LDL - C}{HDL - C}$$

### 1.3.3 高脂血症小鼠肝脏病理观察

小鼠眼球取血后颈椎脱臼处死, 剖开腹腔, 取出一部分肝组织, 生理盐水冲洗, 将其切成小块 (5 mm × 5 mm × 2 mm), 浸入 10% 中性福尔马林固定液中固

定 24 h, 分别经 70%、95% 和 100% 乙醇脱水, 浸蜡后石蜡包埋, 切片机切片后贴片, 蛋白质凝固后进行染色 HE 染色制片, 光学显微镜下放大 400 倍观察小鼠肝脏病理变化。

### 1.3.4 数据处理

采用 DPS v7.05 版处理数据, 采用单因素方差分析和 LSD 检验进行组间比较, 显著差异(LSD)测试, 显著性水平  $p < 0.05$ 。

## 2 结果与讨论

### 2.1 大黄鱼鱼卵磷脂对小鼠体重的影响

表 2 大黄鱼鱼卵磷脂对小鼠体重的影响 ( $\bar{x} \pm SD$ ,  $n=10$ )

Table 2 Effects of large yellow croaker fish roe phospholipids on the body weight of hyperlipidemic mice ( $\bar{x} \pm SD$ ,  $n=10$ )

组别	0 周	1 周	2 周	3 周	4 周
正常对照组	34.19±1.08 <sup>eB</sup>	39.23±0.92 <sup>eB</sup>	41.34±0.99 <sup>bBC</sup>	43.18±1.39 <sup>bB</sup>	43.59±1.04 <sup>bA</sup>
模型组	37.79±2.18 <sup>abA</sup>	40.73±1.81 <sup>abAB</sup>	43.67±1.16 <sup>aA</sup>	46.12±2.47 <sup>aA</sup>	47.00±1.90 <sup>aAB</sup>
低剂量组	38.19±1.68 <sup>abA</sup>	41.42±1.16 <sup>aA</sup>	42.71±1.28 <sup>aAB</sup>	44.76±1.28 <sup>abAB</sup>	44.97±2.08 <sup>abB</sup>
中剂量组	37.11±0.85 <sup>bA</sup>	39.71±1.36 <sup>bcB</sup>	40.98±1.27 <sup>bc</sup>	43.57±1.28 <sup>abAB</sup>	43.94±1.41 <sup>bB</sup>
高剂量组	38.62±1.82 <sup>aA</sup>	40.66±1.44 <sup>abAB</sup>	41.57±1.54 <sup>bBC</sup>	43.43±1.60 <sup>abAB</sup>	43.73±2.66 <sup>bB</sup>
阴性对照组	38.88±1.34 <sup>aA</sup>	39.87±1.02 <sup>bcAB</sup>	41.03±1.00 <sup>bc</sup>	43.78±3.53 <sup>abAB</sup>	43.97±3.58 <sup>bB</sup>

注: 同列肩标不同小写字母表示差异显著 ( $p < 0.05$ ), 不同大写字母表示差异极显著 ( $p < 0.01$ )。

由表 1 可知, 高脂血症小鼠建模后 (第 0 周), 各组的体重均极显著高于正常组 ( $p < 0.01$ ), 说明肥胖是高脂血症的表现症状之一。随着大黄鱼鱼卵磷脂饲料干预试验的进行, 小鼠体重均有增加。但是在第 4 周结束后, 各组的体重均低于模型组, 其中中剂量组、高剂量组和阴性对照组与模型组比较, 均表现出极显著性, 而低剂量组与其相比无显著差异。试验结果表明大黄鱼鱼卵磷脂可抑制小鼠体重的增加。

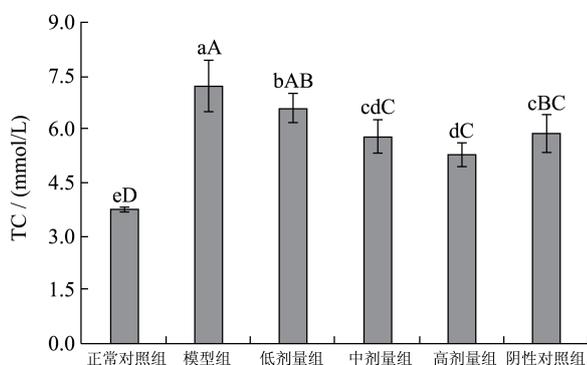


图 1 大黄鱼鱼卵磷脂对小鼠血清 TC 水平的影响 ( $\bar{x} \pm SD$ ,  $n=10$ )

Fig.1 Effects of large yellow croaker fish roe phospholipids on the serum TC level in hyperlipidemic mice ( $\bar{x} \pm SD$ ,  $n=10$ )

注: 标不同小写字母表示差异显著 ( $p < 0.05$ ), 不同大写字母表示差异极显著 ( $p < 0.01$ ), 下同。

### 2.2 大黄鱼鱼卵磷脂对小鼠血脂水平的影响

#### 2.2.1 大黄鱼鱼卵磷脂对小鼠血清 TC 水平的影响

由图 1 可知, 各试验组的 TC 水平极显著高于正常对照组 ( $p < 0.01$ ); 各剂量组和阴性对照组的 TC 水平显著低于模型组 ( $p < 0.05$ ), 其中中剂量组、高剂量组和阴性对照组呈极显著水平 ( $p < 0.01$ ), 分别下降了 19.77%、26.28% 和 18.36%; 与阴性对照组相比, 高剂量组血清的 TC 水平达到显著差异 ( $p < 0.05$ )。以上结果说明大黄鱼鱼卵磷脂能抑制高脂血症小鼠血清 TC 水平升高的趋势, 并显著降低血清中的 TC 水平, 但是不能使其降至正常水平。

#### 2.2.2 大黄鱼鱼卵磷脂对小鼠血清 TG 水平的影响

由图 2 可知, 各剂量组的 TG 水平呈现下降的趋势, 其中高剂量组的 TG 水平与正常对照组相比达到了无显著差异水平 ( $p > 0.05$ ); 与模型组相比, 低剂量组的 TG 水平达到显著差异 ( $p < 0.05$ ), 其余各组达到极显著差异 ( $p < 0.01$ ), 其中高剂量组的 TG 水平下降了 24.95%。说明大黄鱼鱼卵磷脂对降低高脂血症小鼠血清中 TG 水平作用显著。中剂量组与阴性对照组的 TG 水平无明显差异 ( $p > 0.05$ ), 表明对于高脂血症小鼠血清

TG 水平的影响, 大黄鱼鱼卵磷脂和大豆磷脂的作用效果是相近。

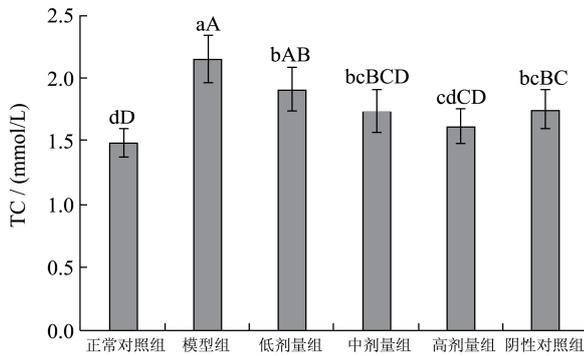


图2 大黄鱼鱼卵磷脂对小鼠血清 TG 水平的影响 ( $\bar{x} \pm SD, n=10$ )

Fig.2 Effects of large yellow croaker fish roe phospholipids on the serum TG level in hyperlipidemic mice ( $\bar{x} \pm SD, n=10$ )

### 2.2.3 大黄鱼鱼卵磷脂对小鼠血清 HDL-C 水平的影响

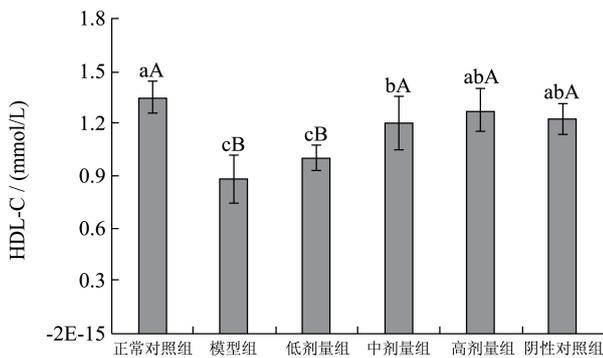


图3 大黄鱼鱼卵磷脂对小鼠血清 HDL-C 水平的影响 ( $\bar{x} \pm SD, n=10$ )

Fig.3 Effects of large yellow croaker fish roe phospholipids on the serum HDL-C level in hyperlipidemic mice ( $\bar{x} \pm SD, n=10$ )

由图3可知, 高剂量组和阴性对照组与正常对照组相比, HDL-C 水平均无显著差异( $p>0.05$ ), 低剂量组 HDL-C 水平与模型组相比无明显差异( $p>0.05$ ), 但是各剂量组和阴性对照组的 HDL-C 水平均高于模型组。说明大黄鱼鱼卵磷脂能显著提高高脂血症小鼠血清中 HDL-C 水平, 并使其维持在正常的水平。另外, 低剂量组与中剂量组和高剂量组的 HDL-C 水平存在显著差异( $p<0.05$ ), 表明不同剂量大黄鱼鱼卵磷脂对小鼠血清的 HDL-C 水平产生显著影响。

### 2.2.4 大黄鱼鱼卵磷脂对小鼠血清 LDL-C 水平的影响

由图4可知, 模型组的 LDL-C 水平显著高于各组 ( $p<0.05$ ), 其中中剂量组、高剂量组和阴性对照组的 LDL-C 水平比模型组分别下降了 37.96%、42.32%和 37.13%, 且高剂量组 LDL-C 水平与正常对照组无明显差异( $p>0.05$ )。此外, 低剂量组与中、高剂量组的

LDL-C 水平存在显著差异。这表明了一定剂量的大黄鱼鱼卵磷脂对降低高脂血症小鼠血清中 LDL-C 水平作用明显。

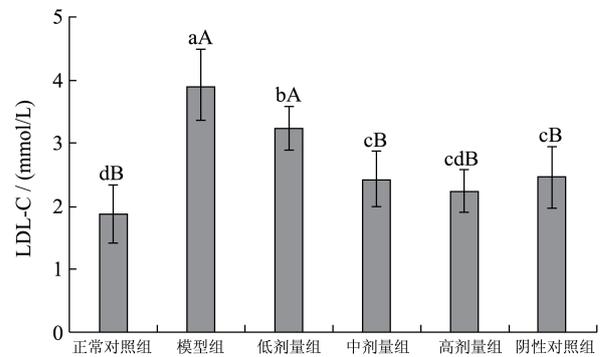


图4 大黄鱼鱼卵磷脂对小鼠血清 LDL-C 水平的影响 ( $\bar{x} \pm SD, n=10$ )

Fig.4 Effects of large yellow croaker fish roe phospholipids on the serum LDL-C level in hyperlipidemic mice ( $\bar{x} \pm SD, n=10$ )

### 2.3 大黄鱼鱼卵磷脂对小鼠动脉硬化指数的影响

TC、TG、LDL-C 和 HDL-C 是动脉硬化形成的危险因素, 其中 TC、TG、LDL-C 与动脉粥样硬化呈正相关, 而 HDL-C 呈负相关<sup>[18]</sup>。AI<sub>1</sub>、AI<sub>2</sub> 两者值越大, 表示动脉粥样硬化发生的可能性越大。

表3 大黄鱼鱼卵磷脂对小鼠动脉硬化指数的影响 ( $\bar{x} \pm SD, n=10$ )

Table 3 Effect of large yellow croaker fish roe phospholipids on the AIs in hyperlipidemic mice ( $\bar{x} \pm SD, n=10$ )

组别	AI <sub>1</sub>	AI <sub>2</sub>
正常对照组	1.80±0.24 <sup>dD</sup>	1.39±0.33 <sup>cC</sup>
模型组	6.83±1.48 <sup>aA</sup>	4.62±1.57 <sup>aA</sup>
低剂量组	4.93±1.41 <sup>bB</sup>	3.20±0.33 <sup>bB</sup>
中剂量组	3.74±1.04 <sup>cBC</sup>	2.08±0.59 <sup>cC</sup>
高剂量组	3.04±0.68 <sup>cdD</sup>	1.76±0.25 <sup>cC</sup>
阴性对照组	3.73±0.60 <sup>bC</sup>	1.99±0.31 <sup>cC</sup>

由表3可知, 各组的动脉粥样硬化指数 (AI<sub>1</sub>、AI<sub>2</sub>) 均高于正常对照组, 但是与模型组相比, 各剂量组和阴性对照组能够显著降低动脉粥样硬化指数 (AI<sub>1</sub>、AI<sub>2</sub>) ( $p<0.01$ ); 与低剂量组相比, 中剂量组、阴性对照组能显著降低 AI<sub>1</sub> 值 ( $p<0.05$ ) 和 AI<sub>2</sub> 值 ( $p<0.01$ ); 高剂量组的 AI<sub>2</sub> 值与正常对照组无明显差异 ( $p>0.05$ ), 但是 AI<sub>1</sub> 值达到了显著差异 ( $p<0.05$ )。表明大黄鱼鱼卵磷脂对动脉硬化的形成具有显著的预防作用, 其中高剂量组在降低动脉硬化指数方面效果优于低剂量组。

## 2.4 高脂血症小鼠肝脏病理学观察

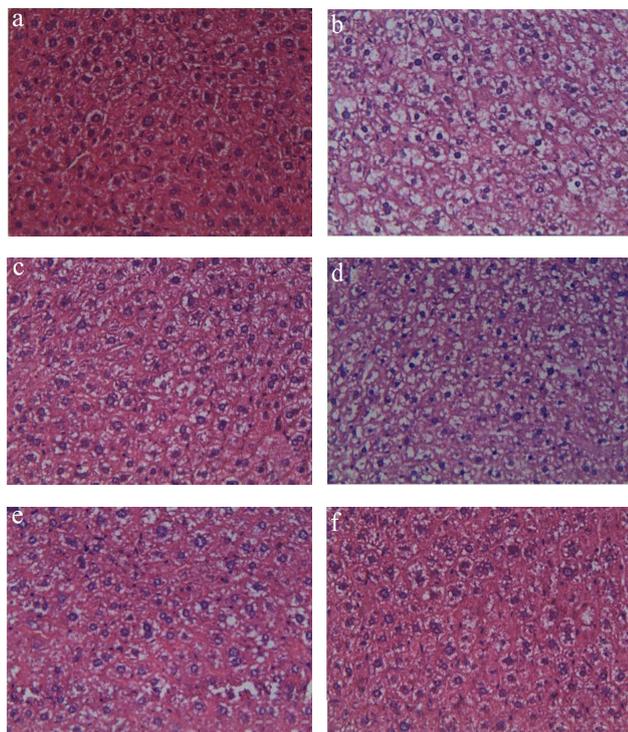


图5 各组小鼠的肝脏组织形态学变化

Fig.5 Morphological changes in the liver of each group

注: a, 正常对照组; b, 模型组; c, 阴性对照组; d, 低剂量组; e, 中剂量组; f, 高剂量组; 放大倍数 400 $\times$ 。

大黄鱼鱼卵磷脂调节小鼠脂质代谢前后肝脏的形态学观察见图5所示, 正常对照组肝脏颜色红润, 表面光滑, 肝组织形态正常, 结构清晰, 肝细胞呈多边形, 排列规则, 呈条索状, 胞浆均匀丰富, 肝小叶结构无异常, 肝血窦清晰可见, 小鼠肝脏细胞未见发生脂肪变性。模型组肝脏颜色暗沉, 带有油腻感, 细胞明显肿大, 出现点状或片状坏死及炎细胞浸润现象, 胞浆出现大小不一的脂滴, 肝小叶界限模糊, 肝索紊乱, 部分肝窦消失。

与模型组相比, 低剂量组肝脏细胞形态无明显改善, 仍存在圆形脂滴和炎细胞浸润现象, 而阴性对照组和中和高剂量组小鼠肝脏组织有所改善, 肝细胞形态结构正常, 脂肪变性肝细胞的数目明显减少, 窦和肝索较清晰, 胞浆内脂滴减少, 少部分细胞变性, 其中阴性对照组的效果优于中剂量组。表明, 大黄鱼鱼卵磷脂对高脂血症小鼠的肝脏组织有的改善作用, 其中, 中、高剂量组的改善效果最佳。

## 3 讨论

高脂血症(HLP)是由于脂肪代谢或运转异常使TC、TG和(或)LDL-C过高和(或)HDL-C过低而

引发的一种病症, 高脂血症也是动脉粥样硬化、脑中风等慢性疾病发病的重要原因, 可见调节高脂血症具有重要意义。在本试验结果中, 发现大黄鱼鱼卵磷脂具有调节高脂血症的功能。试验中发现大黄鱼鱼卵磷脂可显著抑制小鼠体重的增加, 说明大黄鱼鱼卵磷脂可显著干预饮食引起的高脂血症, 这与其他相关的研究结果一致, 如崔洁等人<sup>[19]</sup>研究鸚乌贼卵中纯化得到的DHA-磷脂调节肥胖小鼠脂质代谢时, 也发现饮食大豆磷脂组和DHA-磷脂组的小鼠体重增加量比高脂模型组分别有所下降, 表明大豆磷脂和DHA-磷脂都能有效抑制小鼠体重的增长, 而且DHA-磷脂的抑制效果更为明显。在本研究中结果中, 虽然大黄鱼鱼卵磷脂和大豆磷脂都具有显著的抑制的效果, 但二者间差异并不显著, 原因可能是本研究中所采用的大黄鱼鱼卵磷脂为粗品, 并未采取纯化步骤而导致的结果<sup>[19]</sup>。大黄鱼鱼卵磷脂各剂量组和大豆磷脂组的TC水平显著低于模型组( $p < 0.05$ ), 而且大黄鱼鱼卵磷脂各剂量组和大豆磷脂组的HDL-C水平均高于模型组, 而且不同剂量大黄鱼鱼卵磷脂对小鼠血清的HDL-C水平产生显著影响。此外, 大黄鱼鱼卵磷脂中、高剂量组对降低高脂血症小鼠血清中LDL-C水平效果显著( $p < 0.05$ ); 以上血清学指标结果充分说明大黄鱼鱼卵磷脂对降低小鼠高脂血症具有明显的效果。里慧等<sup>[20]</sup>以鱼脑磷脂为受试物, 研究了鱼脑磷脂对高脂血症小鼠脂质代谢的调节作用, 发现鱼脑磷脂可以显著降低高脂血症小鼠的血清TC、TG和LDL-C水平。进一步说明源于水产品来源的磷脂具有明显的调节血脂功效。

早在2004年Bunea等<sup>[21]</sup>发现磷虾油(KO)相比鱼油(FO)具有更显著的调节血脂代谢的功效, 这是因为KO富含n-3 PUFAs-磷脂(n-3 PLs), PLs的存在促进了小肠对n-3 PUFAs的吸收率<sup>[22]</sup>; Liu等<sup>[14]</sup>在研究n-3 PLs调节小鼠脂质代谢时, 发现n-3 PLs可以抑制小鼠脂肪蓄积和肝脂肪变性, 并揭示了n-3 PLs可以抑制脂肪生成转录因子SREBP-1c表达并加速脂肪酸 $\beta$ -氧化。Higuchi等<sup>[15]</sup>研究了鲱鱼卵中提取得到的n-3 PLs对小鼠脂质代谢时, 发现鲱鱼卵n-3 PLs可以显著提升小鼠血浆脂联素水平、降低TG、TC和葡萄糖含量; Shirouchi等<sup>[17]</sup>研究了鲑鱼卵n-3 PLs对肥胖小鼠肝重和脂质水平的影响, 发现饲喂4周后鲑鱼卵n-3 PLs可以降低小鼠肝重水平和脂质水平, 主要原因是抑制肝脏脂肪合成、促进脂肪酸 $\beta$ -氧化。在血清学指标的研究基础上, 刘小芳<sup>[23]</sup>通过分子生物学技术研究了刺参中的DHA-磷脂和EPA-磷脂调节脂质代谢的作用机制, 发现二者调节机制有所差异, DHA-磷脂

和 EPA-磷脂均可通过抑制肝脏脂肪合成相关酶的活力和基因表达, 减缓脂生成进程; EPA-磷脂通过激活 PPAR $\alpha$ , 提高肝脏脂肪酸  $\beta$ -氧化相关酶活力和基因表达, 加快肝脏脂质的氧化分解。EPA-磷脂对 PPAR $\alpha$  的激活作用是导致二者调节脂质代谢作用途径差异的主要原因。这一现象也说明了磷脂的存在状态以及脂肪酸组成, 对其表现出的营养功能产生了差异化的作用, 说明在研究海洋磷脂调节脂质代谢过程中, 还需要进一步分析海洋磷脂的存在形式及脂肪酸组成, 这对于合理评价海洋磷脂的生物学功能极为重要。

以水产品为原料开发磷脂资源越来越引起国内外学者的重视, 主要是因为海洋磷脂具有更优异的生物学功能, 归功于其特殊的存在形式, 即富含 n-3 多不饱和脂肪酸, 这对于提升海洋磷脂的生物学功能起到了积极的作用。n-3 多不饱和脂肪酸本身就具有调节脂质代谢的功能<sup>[24,25]</sup>, 加之磷脂的生物学功能, 促进了生物体对这一活性成分的有效吸收<sup>[26-29]</sup>, 说明对大黄鱼鱼卵磷脂调节脂质代谢的分子机制还需要更为深入的研究, 也可以为鱼卵等水产品深加工提供更加可靠的理论支撑。

#### 4 结论

本试验研究结果表明大黄鱼鱼卵磷脂在调节高脂血症方面, 具有显著的调节作用。这主要是因为大黄鱼鱼卵磷脂富含卵磷脂 PC, 而 PC 能将胆固醇和甘油三酯等脂类乳化清除, 有利于高密度脂蛋白形成, 防止胆固醇沉积于血管内壁肝脏, 起到调节血脂水平和保护肝脏作用。此外, 大黄鱼鱼卵磷脂含有丰富的 n-3 PUFA, 如 EPA 和 DHA, 而 EPA、DHA 等 n-3 PUFA 可以减少血清中 TC、TG、LDL-C 浓度, 增加 HDL-C 浓度, 同时 n-3 PUFA 容易被动物吸收利用, 并增强 PC 抑制脂肪酸的合成。研究结果进一步说明利用海洋生物组织制备得到的磷脂是一种具有显著降血脂功能的产品, 为后续开发鱼卵资源研制具有降血脂的功能食品提供了理论依据。

#### 参考文献

[1] Zheng W, Liu G, Ao J, et al. Expression analysis of immune-relevant genes in the spleen of large yellow croaker (*Pseudosciaena crocea*) stimulated with poly I: C [J]. *Fish & Shellfish Immunology*, 2006, 21(4): 414-430

[2] Bureau C F. China fisheries yearbook [M]. Beijing: Chinese Agriculture Press, 2013

[3] Li T, Hu W, Li J, et al. Coating effects of tea polyphenol and rosemary extract combined with chitosan on the storage

quality of large yellow croaker (*Pseudosciaena crocea*) [J]. *Food Control*, 2012, 25(1): 101-106

[4] Hu Y, Du S, Wu D M, et al. Study on the antimicrobial activity of strongly acidic electrolysed oxidising water for large yellow croaker [J]. *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*, 2014, 7(2): 133-139

[5] Liu Y Y, Cao M J, Zhang M L, et al. Purification, characterization and immunoreactivity of  $\beta$ '-component, a major allergen from the roe of large yellow croaker (*Pseudosciaena crocea*) [J]. *Food and Chemical Toxicology*, 2014, 72: 111-121

[6] Yan Yun L, Min Jie C, Yu Bao L, et al. Comparative research on different processing methods decreasing the immunoreactivity of the roe of large yellow croaker allergen and digestion products [J]. *Journal of Food Safety and Quality*, 2014, 5(4): 1045-1053

[7] Olsen R L, Toppe J, Karunasagar I. Challenges and realistic opportunities in the use of by-products from processing of fish and shellfish [J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2014, 36(2): 144-151

[8] Manuela A G, Robert V A, Yoannis N, et al. Fatty acids profile, atherogenic (IA) and thrombogenic (IT) health lipid indices, of raw roe of blue fin tuna (*Thunnus thynnus* L.) and their salted product "Bottarga" [J]. *Food and Nutrition Sciences*, 2011, 2(7): 736-743

[9] Moreira A B, Visentainer J V, de Souza N E, et al. Fatty acids profile and cholesterol contents of three Brazilian brycon freshwater fishes [J]. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2001, 14(6): 565-574

[10] Scano P, Rosa A, Mereu S, et al. Multivariate fatty acid and fatty alcohol profile of mullet bottarga [J]. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 2010, 112(12): 1369-1374

[11] Shirai N, Higuchi T, Suzuki H. Analysis of lipid classes and the fatty acid composition of the salted fish roe food products, Ikura, Tarako, Tobiko and Kazunoko [J]. *Food Chemistry*, 2006, 94(1): 61-67

[12] Cansell M, Nacka F, Combe N. Marine lipid-based liposomes increase *in vivo* FA bioavailability [J]. *Lipids*, 2003, 38(5): 551-559

[13] Lemaitre Delaunay D, Pachiaudi C, Laville M, et al. Blood compartmental metabolism of docosahexaenoic acid (DHA) in humans after ingestion of a single dose of [13C] DHA in phosphatidylcholine [J]. *Journal of Lipid Research*, 1999, 40(10): 1867-1874

[14] Liu X, Xue Y, Liu C, et al. Eicosapentaenoic acid-enriched

- phospholipid ameliorates insulin resistance and lipid metabolism in diet-induced-obese mice [J]. *Lipids in Health and Disease*, 2013, 12: 109
- [15] Higuchi T, Shirai N, Suzuki H. Effects of dietary herring roe lipids on plasma lipid, glucose, insulin, and adiponectin concentrations in mice [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2006, 54(10): 3750-3755
- [16] Shirai N, Higuchi T, Suzuki H. Effect of lipids extracted from a salted herring roe food product on maze-behavior in mice [J]. *Journal of Nutritional Science and Vitaminology*, 2006, 52(6): 451-456
- [17] Shirouchi B, Nagao K, Inoue N, et al. Effect of dietary omega 3 phosphatidylcholine on obesity-related disorders in obese Otsuka Long-Evans Tokushima fatty rats [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2007, 55(17): 7170-7176
- [18] Zhu Y, Wang J, Mao L, et al. Effects of fish oil with high DHA/EPA and triglycerides on lipid metabolism in fatty liver rats [J]. *Acta Nutrimenta Sinica*, 2013, 4: 007
- [19] 崔洁,刘小芳,董喆,等.DHA-磷脂对肥胖小鼠脂质代谢的影响[J].*中国油脂*,2014,39(1):27-31  
CUI Jie, LIU Xiao-fang, DONG Zhe, et al. Effects of DHA-enriched phospholipids on lipid metabolism in diet-induced obese C57BL/6J mice model [J]. *China Oils and Fats*, 2014, 39(1): 27-31
- [20] 里慧,付佳奇,俞微微,等.鱼脑磷脂对小鼠脂质代谢的影响[J].*食品与机械*,2015,2: 55  
LI Hui, FU Jia-qi, YU Wei-wei, et al. Effects of fish brain phospholipids on lipid metabolism in mice [J]. *Food and Machinery*, 2015, 2: 55
- [21] Bunea R, El Farrah K, Deutsch L. Evaluation of the effects of neptune krill oil on the clinical course of hyperlipidemia [J]. *Alternative Medicine Review*, 2004, 9(4): 420-428
- [22] Werner A, Havinga R, Kuipers F, et al. Treatment of EFA deficiency with dietary triglycerides or phospholipids in a murine model of extrahepatic cholestasis [J]. *American Journal of Physiology-Gastrointestinal and Liver Physiology*, 2004. 286(5): G822-G832
- [23] 刘小芳.刺参营养成分的地域性差异分析及其磷脂的活性研究[D].青岛:中国海洋大学,2014  
LIU Xiao-fang. Study of regional difference in nutrient compositions and bioactivities of phospholipids in sea cucumber (*Apostichopus japonicus*) [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2014
- [24] Mühlroth A, Li K, Røkke G, et al. Pathways of lipid metabolism in marine algae, co-expression network, bottlenecks and candidate genes for enhanced production of EPA and DHA in species of Chromista [J]. *Marine Drugs*, 2013, 11(11): 4662-4697
- [25] Mozaffarian D, Wu J H Y. (n-3) fatty acids and cardiovascular health: are effects of EPA and DHA shared or complementary? [J]. *The Journal of Nutrition*, 2012, 142(3): 614S-625S
- [26] Hossain Z, Hosokawa M, Takahashi K. Growth inhibition and induction of apoptosis of colon cancer cell lines by applying marine phospholipid [J]. *Nutrition and Cancer*, 2008, 61(1): 123-130
- [27] Lu F S H, Nielsen N S, Baron C P, et al. Physico-chemical properties of marine phospholipid emulsions [J]. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 2012, 89(11): 2011-2024
- [28] Lu F S H, Nielsen N S, Baron C P, et al. Oxidative stability of dispersions prepared from purified marine phospholipid and the role of  $\alpha$ -tocopherol [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2012, 60(50): 12388-12396
- [29] Pacetti D, Lucci P, Mozzon M, et al. Influence of deep-fat frying process on phospholipid molecular species composition of *Sardina pilchardus* fillet [J]. *Food Control*, 2015, 48: 155-162